

체적 밸런스 선형변환방법에 대한 연구

김현철
울산과학기술대학교 기계공학부

On the Volumetric Balanced Variation of Ship Forms

Hyun-Cheol Kim

School of Mechanical Engineering, Ulsan College, Ulsan, Korea

KEY WORDS: Sectional area curve 횡단면적 곡선, Form parameter method 형상 파라미터 방법, Hull form variation 선형변환

ABSTRACT: This paper aims at contributing to the field of ship design by introducing new systematic variation methods for ship hull forms. Hull form design is generally carried out in two stages. The first is the global variation considering the sectional area curve. Because the geometric properties of a sectional area curve have a decisive effect on the global hydrodynamic properties of ships, the design of a sectional area curve that satisfies various global design conditions, e.g., the displacement, longitudinal center of buoyancy, etc., is important in the initial hull form design stage. The second stage involves the local design of section forms. Section forms affect the local hydrodynamic properties, e.g., the local pressure in the fore- and aftbody. This paper deals with a new method for the systematic variation of sectional area curves. The longitudinal volume distribution of a ship depends on the sectional area curve, which can geometrically be controlled using parametric variation and a variation that uses the modification function. Based on these methods, we suggest a more generalized method in connection with the derivation of the lines for a new design compared to those for similar ships. This is the so-called the volumetric balanced variation (VOB) method for ship forms using a B-spline modification function and an optimization technique. In this paper the global geometric properties of hull forms are totally controlled by the form parameters. We describe the new method and some application examples in detail.

1. 서 론

1950년대 이후 컴퓨터의 발달과 함께 선형을 수학적으로 정의하여 선형설계에 적용하려는 연구가 조선공학자들의 큰 관심이 되어 활발히 진행되었으며, 현재 컴퓨터를 이용하지 않은 선형설계는 상상할 수 없을 정도가 되었다. 그 주된 이유는 다음과 같다.

(1) 심미적 특성(Aesthetic point of view): 수학적 표현을 사용함으로써 주어진 설계조건에 부합하는 매끄러운 선형의 곡선 및 곡면을 객관적 기준으로 생성할 수 있게 한다.

(2) 정확성(Accuracy)과 일관성(Consistency): 초기 설계단계의 선형특성들이 허용 가능한 오차 내에서 정보손실 없이 생산단계까지 전달될 수 있다(Son and Kim, 2008).

(3) 전산유체해석에 의한 평가: 선형을 컴퓨터 내에서 모의시험을 함으로써 모형시험 및 실선 건조 이전에 미리 그 성능을 평가할 수 있다.

(4) 시간단축: 선형설계시 수많은 수정작업을 컴퓨터 내에서 간단하게 수행함으로써 많은 설계시간을 절약할 수 있다.

상술한 내용을 다루는 분야를 CASHD(Computer aided ship hull design)라 하며 선형을 정의하는 방법에 따라 다음과 같이 분류할 수 있다(Kim, 2004).

- (1) 옵션 기반 선형설계방법
(Conventional non-parametric hull design)
- (2) 부분 파라메트릭 선형설계방법
(Partially parametric hull design)
- (3) 완전 파라메트릭 선형설계방법
(Fully parametric hull design)

첫 번째 방법은 설계자가 직접 각 선도(Lines)를 수정하면서 선형설계를 수행하는 방법으로, 대부분 CAD(Computer aided design) 시스템들은 이러한 작업을 편리하게 수행할 수 있는 기능들을 제공한다. 이 방법은 설계자가 의도하는 대로 선형을 섬세하게 표현할 수 있는 장점이 있으나 설계시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 두 번째 방법은 주형계수(C_p), 부심위치(Longitudinal center of buoyancy, LCB)와 같은 선형계수(혹은 형상 파라미터)와 옵션기반방법을 부분적으로 결합한 방법이다. 대표적

Received 1 November 2012, revised 8 February 2013, accepted 25 March 2013

Corresponding author Hyun-Cheol Kim: +82-52-279-3103, hckim@uc.ac.kr

© 2013, The Korean Society of Ocean Engineers

인 예로는 “1-C_p법”, Lackenby 방법(Lackenby, 1950) 등이 있으며, 기준선의 횡단면적 곡선(Sectional area curve, SAC)에 대한 유체역학적 특성을 형상 파라미터(Kim, 2004)들을 이용하여 정의하고 이들 형상 파라미터들을 만족하도록 수학적으로 옵셋을 조정함으로써 전역적으로 선형변환을 수행한 후, 옵셋기반방법으로 설계선의 각 단면을 설계자가 설계한다. 이 방법으로부터 선형을 체계적으로 변환할 때 편리하게 수행할 수 있으며, 기준선의 선형특성을 최대한 포함하여 설계선의 선형설계를 체계적으로 수행할 수 있다는 장점이 있다. 세 번째 방법은 형상 파라미터들을 조합하여 선형을 정의하고 변환하는 방법으로, Creutz와 Nowacki(Creutz, 1977)에 의해 소개되어 Harries(1998)과 Kim(2004)에 의해 발전되었다. 이 방법은 선형을 형상 파라미터들만으로 정의하므로 기준선이 없는 경우에도 형상 파라미터들을 수정하여 쉽게 선형을 생성하고 변환할 수 있으며(Kim and Hwangbo, 2008), 자동선형변환(Kim et al., 2007) 및 기타 분야(Kim et al., 1996a; Kim et al., 1996b; Kim et al., 1998; Kim and Kim, 1998)와의 결합과 확장 응용이 가능하다. 그러나 실용적인 측면에서는 선수 최적화에 부분적으로 적용되고 있으며(Harries, 1998), 형상 파라미터들간의 효율적인 조합방법에 대한 보다 구체적인 연구가 필요하다. 부분 파라메트릭 선형설계 방법과 완전 파라메트릭 선형설계 방법은 내부적으로는 선형을 변환하는 방법에 차이는 있지만, 두 방법 모두 외부적으로는 형상 파라미터들을 이용하여 선형설계를 수행한다는 측면에서는 큰 차이가 없다고 할 수 있다.

한편, 선형설계는 일반배치와 함께 저항 및 추진 성능을 고려하여 일반적으로 2단계로 수행된다.

첫 번째 단계는 조파저항을 고려한 중방향 체적분포 즉 횡단면적 곡선 설계이다. 실제 조선소에서는 우수한 성능을 보여준 각 선종의 기준선(Mother ship)을 설정하여 부분 파라메트릭 방법으로 변환하여 설계선의 초기 기준선으로 사용한다. 이때 탱커(Tanker)와 같은 저속선의 경우를 제외하고는 횡단면적 곡선으로 표현되는 중방향 체적분포에 의해 조파저항의 전역적 특성이 결정되므로 전술한 바와 같이 횡단면적 곡선을 체계적으로 변환하려는 많은 연구가 시도되었다(Kim et al., 2007).

두 번째 단계는 저항성능의 국부적 특성을 고려한 각 횡단면(혹은 늑골선) 설계이다. 횡단면 설계는 프로펠러 클리어런스, 선미 변동압, 선저 압력저하 등 국부적 선형특성을 고려하여 변환하는데 주로 형상저항의 관점에서 설계를 수행한다. 현재 횡단면 설계업무를 효율적으로 하기 위한 다양한 연구(Kim, 2004)가 진행되고 있지만, 실제 현장의 다양한 요구를 만족하는 수학적 모델은 아직 제시되지 못하고 있다.

본 논문은 상술한 선형설계 단계 중에 첫 번째 단계인 전역적 선형변환을 위한 “부분 파라메트릭 선형설계방법” 중에서 B-spline 변환함수와 최적화 기법을 이용하여 보다 일반화된 선형 변환방법을 소개하고 그 실용성을 검토하였다.

2. 부분 파라메트릭 선형변환

부분 파라메트릭 선형변환은 중방향의 체적(혹은 배수량) 분

포를 나타내는 횡단면적 곡선을 형상 파라미터로 정의하고, 각 단면의 변환은 옵셋기반방법이나 변환함수를 이용하는 선형 변환방법으로 각 설계단계의 특징은 다음과 같다.

2.1 1단계: 파라메트릭 횡단면적 곡선설계(Parameteric SAC design)

파라메트릭 횡단면적 곡선설계는 변환방법에 따라 형상 파라메트릭방법(Form parameter method)과 변환함수(Modification function)를 이용하는 방법으로 나눌 수 있다. 이 방법은 가장 설계자유도(Design freedom)가 높고 설계자가 직관적으로 판단할 수 있지만, 파라미터들의 유용한 조합을 효율적으로 찾는 추가적인 방법이 필요하다. 변환함수를 이용하는 방법은 기준선의 횡단면적 곡선 변화량을 변환함수로 정의하여 선형을 변환하는 방법이다.

Lackenby 방법과 다항식을 이용한 방법(Kim et al., 2007)이 있으며 본 연구에서는 이들 방법들에 비해 보다 일반화된 체적 밸런스 변환방법을 소개한다. 횡단면적 곡선은 무차원화된 “C_p-

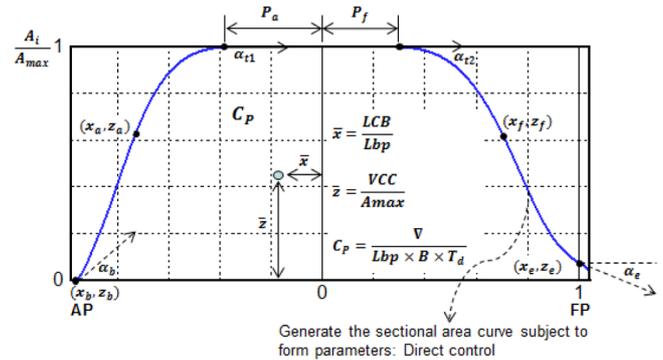


Fig. 1 Concept of parametric SAC design using the form parameter method

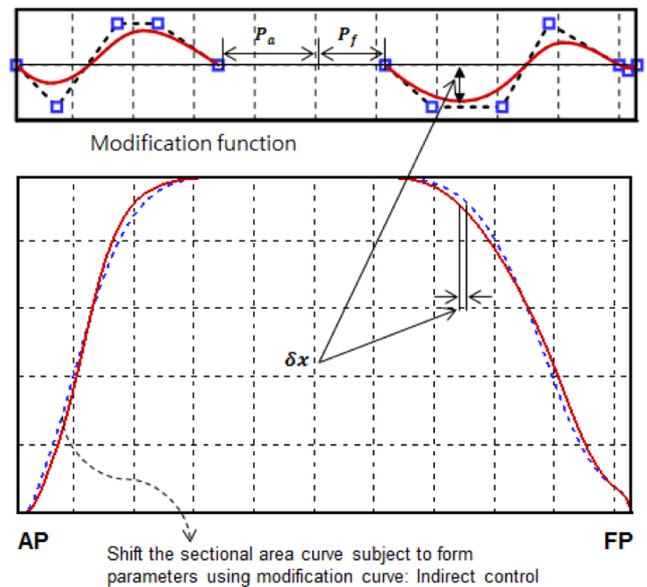


Fig. 2 Concept of parametric SAC design using the modification function

Table 1 Form parameters for the parametric SAC design

P_a, P_f	Parallel middle body length in aft and fore part
\bar{x}	Distance from midship to the SAC's centroid = Longitudinal center of buoyancy (LCB) / Lbp
\bar{z}	Vertical distance of the SAC's centroid = Vertical center of SAC (VCC) / Maximal area amidships(A_{max})
C_b	Block coefficient
C_p	Prismatic coefficient
x_a, z_a	Fixed position of SAC in the afterbody
x_f, z_f	Fixed position of SAC in forebody
x_b, z_b	Position at AP
x_e, z_e	Position at FP
α_b, α_e	Slope at AP and FP
α_{tw}, α_{te}	Slope at the parallel middle of the after- and forebody
δ	Required change value

곡선"과 동일하며 $C_p = Total\ volume(\nabla)/(Length\ between\ perpendiculars(Lbp) \times Midship\ section\ area(A_m))$ 으로 정의된다. Fig. 1은 형상 파라미터방법에 의한 C_p -곡선설계의 개념도를, Fig. 2는 변환곡선을 이용한 C_p -곡선설계의 개념도를 나타낸다. 여기서 변환곡선의 변화량은 C_p -곡선의 종방향의 이동량을 나타낸다. 그리고 C_p -곡선의 변화량에 따라 횡단면이 이동하게 되어 전체적인 선형의 배수량 분포를 조정하게 된다. Table 1은 C_p -곡선에서 조정 가능한 형상 파라미터들과 그 특성을 요약한 것이다. 여기서 가로축은 Lbp 로 무차원한 값을 나타내고, 세로축은 각 Station에서의 횡단면적(A_i)을 중앙부에서의 횡단면적(A_{max})으로 무차원화한 값을 나타낸다. 횡단면적 곡선의 변화에 따라 각 횡단면의 면적값은 종방향으로 변화한다.

2.2 단계: 횡단면설계(Section design)

파라메트릭 횡단면적 곡선설계 후 각 Station에서의 단면적은 면적 형상 파라미터로, Bottom tangent line, Side tangent line, Center profile 그리고 Deck line 등은 위치 형상 파라미터로 정의된다. 횡단면설계는 이들 정보를 바탕으로 육셋기반설계방법, 변환곡선을 이용한 설계방법 그리고 형상 파라미터 설계방법 등으로 횡단면을 수정한다. 본 논문의 연구범위는 체적분포설계에 의한 선형의 전역적 특성변화에 있으므로 횡단면 설계는 횡단면적 곡선변화에 따른 종방향의 이동으로 결정하였다. 이런 간단한 방법도 실제 조선설계에서 자주 사용하므로 실용적인 측면에서는 의미가 있다고 판단된다. 또한, 횡단면설계는 선종에 따라 화물창 경계, 엔진룸 공간, 추진기 배치 등 고려해야 할 다양한 설계조건들이 있으므로 체계적인 변환을 위해서는 향후 보다 구체적인 연구가 필요하다.

3. 체적 밸런스 변환방법의 수학적 표현

체적 밸런스 변환방법(Volumetric balanced variation of ship hull forms, VOB 방법)은 B-spline 변환곡선과 SQP최적화기법

(Sequential quadratic programming, SQP)을 이용하여 곡선최적화가 발생하지 않는 범위 내에서 형상 파라미터들을 만족하도록 횡단면적 곡선을 수정하는 부분 파라메트릭 선형변환방법이다. 본 방법은 평활화 기준(Fairness criteria)(Kim, 2004)을 최적화의 목적함수로 활용함으로써 형상 파라미터들의 불합리한 조합에 의한 곡선최적화를 방지하면서 최적 횡단면적 곡선의 형상 파라미터 조합 정보를 설계자에게 제공할 수 있다는 장점을 가진다.

정식화를 위한 수학적 표현은 다음과 같다. 일반적으로 최적화 문제는 다음과 같은 설계경계조건들을 가지는 목적함수를 최소화하는 설계변수 $\vec{V} = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ 를 찾는 것으로 정식화될 수 있다.

목적함수:

$$f = f(\vec{V}) \tag{1}$$

등호 경계조건:

$$h_i(\vec{V}) = 0, i = 1, \dots, l \tag{2}$$

부등호 경계조건:

$$g_i(\vec{V}) \leq \epsilon, i = 1, \dots, m \tag{3}$$

설계변수 경계조건:

$$v_{ilow} \leq v_i \leq v_{ihigh}, i = 1, \dots, n \tag{4}$$

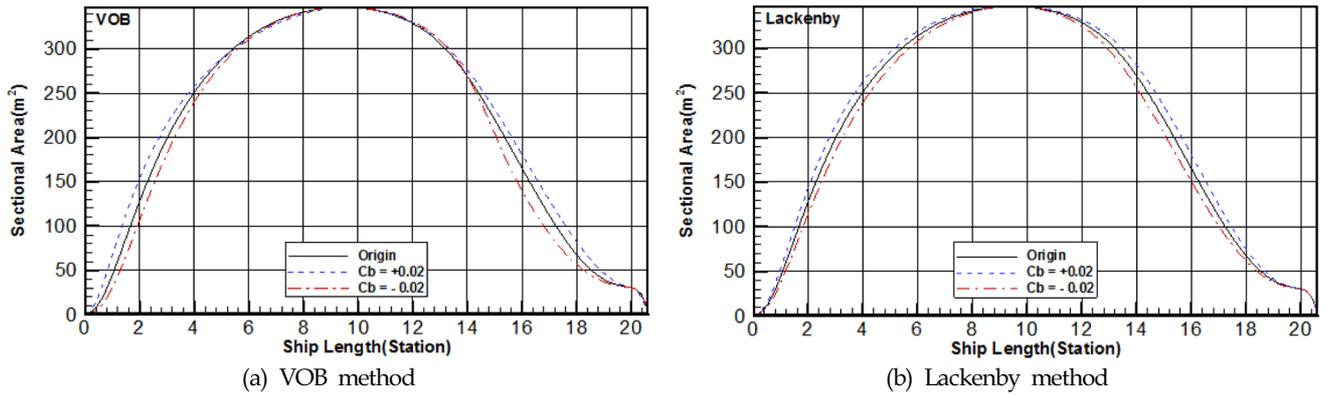
여기서 ϵ 는 허용오차, $ilow$ 는 하한값의 색인, $ihigh$ 는 상한값의 색인을 나타낸다. 식 (1)~(4)를 이용하여 VOB방법을 설명하면 다음과 같다. 등호 및 부등호 경계조건은 생성될 횡단면적 곡선이 만족해야 할 형상 파라미터로서 정의되고 횡단면적 곡선의 변환은 B-spline 곡선으로 정의되는 변환함수에 의해 조정된다. 따라서 식 (4)의 설계변수는 B-spline 변환 곡선을 정의하는 조정점(Control point)으로 정의된다. 변환곡선을 B-spline곡선으로 정의한 이유는 적은 수의 조정점으로 곡선을 매끄럽게 정의할 수 있기 때문이다. 이는 최적화 기법을 적용할 때 적은 수의 조합으로 최적화를 수행할 수 있는 장점이 있다. 즉, 기준선 횡단면적 곡선의 각 Station 위치 $\vec{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_r\}$ 에서의 횡단면적 값을 $\vec{A} = \{A_1, A_2, \dots, A_r\}$ 라고 할 때 설계선 횡단면적 곡선을 위한 새로운 Station 위치 $\vec{x}' = \{x'_1, x'_2, \dots, x'_r\}$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\vec{x}' = \vec{x} + \delta \vec{x} \tag{5}$$

이때 각 Station에서의 이동값 $\delta \vec{x} = \{\delta x_1, \delta x_2, \dots, \delta x_r\}$ 은 다음과 같이 B-spline 곡선으로 정의할 수 있다.

$$\delta \vec{x} = \vec{C}(t) = \begin{pmatrix} x(t) \\ y(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n v_{ix} N_i^k(t) \\ \sum_{i=1}^n v_{iy} N_i^k(t) \end{pmatrix} \tag{6}$$

여기서 $\delta \vec{x}$ 는 종방향의 Station 변화량, $\vec{C}(t)$ 는 차수(Degree) k 인 B-spline 곡선(Rogers and Adams, 1990)이며, $t \in [a, b]$ 에서 $N_i^k(t)$ 는 기저함수(Basis function), \vec{v}_i 는 x 성분 v_{ix} 와 y 성분 v_{iy} 를 포함하는 조정점(Control points)이며 최적화에서 설계변수이다. 식 (2)와 식 (3)의 h_i 와 g_i 는 Table 1의 형상 파라미터들로서 구성된다. Fig. 2에서 변환함수는 가로축은 Station을, 세로축은 변



Symbol	Unit	Given value	VOB		Lackenby		
			Calculated value	Calculated value	Calculated value	Calculated value	
δC_b	-	-0.02	+0.02	-0.02	+0.02	-0.02	+0.02
δP_a	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δP_f	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δLCB	m	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.073	0.081
δVCC	m ²	0.0	0.0	0.003	0.003	-1.980	1.855
Fixed x_a	Station	free	free	-	-	-	-
Fixed x_f	Station	free	free	-	-	-	-

(c) Comparison of variation results

Fig. 3 Variation of C_b

화량을 나타내며, AP(after perpendicular)와 FP(forward perpendicular)사이의 선수미부를 각각 5개의 조정점들로 정의하고, 구상선수 부분은 FP에서 G¹-연속성을 만족하도록 3개의 조정점들로 자동 연결이 되도록 B-spline 변환곡선을 구성하였다. 식 (1)의 목적함수는 B-spline 변환곡선식 (6)의 퇴화를 방지하기 위해 다음과 같이 2차 미분값을 최소화하는 평활화 기준(Fairness criteria)을 적용하였다(Kim, 2004).

$$J^2(\vec{C}) = \int_a^b \vec{C}'' dt \quad (7)$$

4. VOB방법을 이용한 횡단면적 곡선변환 적용 예

Lackenby 방법과 같은 기존의 곡선변환방법들은 Table 1의 형상 파라미터에 변화를 주면 다른 파라미터에도 영향을 주어 실제 설계에는 부분적으로 적용할 수 있다는 단점을 가진다. 그럼에도 불구하고 선형의 전역적 특성을 제어하는 데에는 효율적이므로 초기 설계단계에서 사용된다. 본 연구에서 소개한 VOB 방법은 형상 파라미터들을 독립적으로 그리고 상호 연동하여 모두 변환가능하다는 장점을 가진다. 이때 변화를 주고자 하는 파라미터들간의 조합에서 곡선이 퇴화되지 않도록 최적화 기법으로 제어되므로 불합리한 조합을 미리 검토해서 설계자에게 정보를 제공해 준다. 따라서 목표로 하는 형상 파라미터들을 입력하여도 조합이 불합리하면 최적화 알고리즘에 의해 조합 가능한 형상 파라미터들로 수정되므로 초기 설계단계에서 유용한 영역의 설계 파라미터 검토용으로 활용할 수도 있다. 본 연구에서는 VOB 방법에 의해 독립적으로 조정 가능한 설계 파라미터들의 적용 예

를 통해 그 실용성을 확인하였다.

(a) $C_b = \text{Given}$, Others = Maintained

정식화:

Minimize the object function (7)

Subject to

$$h_1(\vec{V}) = (1 + \Delta) C_b$$

$$g_i(\vec{V}) = \text{Other form parameters} \leq \epsilon$$

여기서 Δ 는 변화량을 나타낸다. 이것은 가장 일반적으로 사용하는 변환 방법으로, Fig. 3은 컨테이너선에 대한 VOB 방법과 일반적인 Lackenby 방법에 의한 SAC 변환 결과를 비교하였다. Lackenby 방법은 C_b 의 변화량에 따라 LCB(-0.073, 0.081)와 VCC (Vertical center of SAC) (-1.98, 1.855)가 함께 변화하지만, VOB 방법은 주어진 C_b 변화량이 다른 형상 파라미터들에 영향을 주지 않고 독립적으로 수정될 수 있음을 보여준다. 이것은 기준선의 선형특성을 유지하면서 용량(배수량)을 증가시킬 수 있음을 의미한다.

(b) LCB = Given, Others = Maintained

정식화:

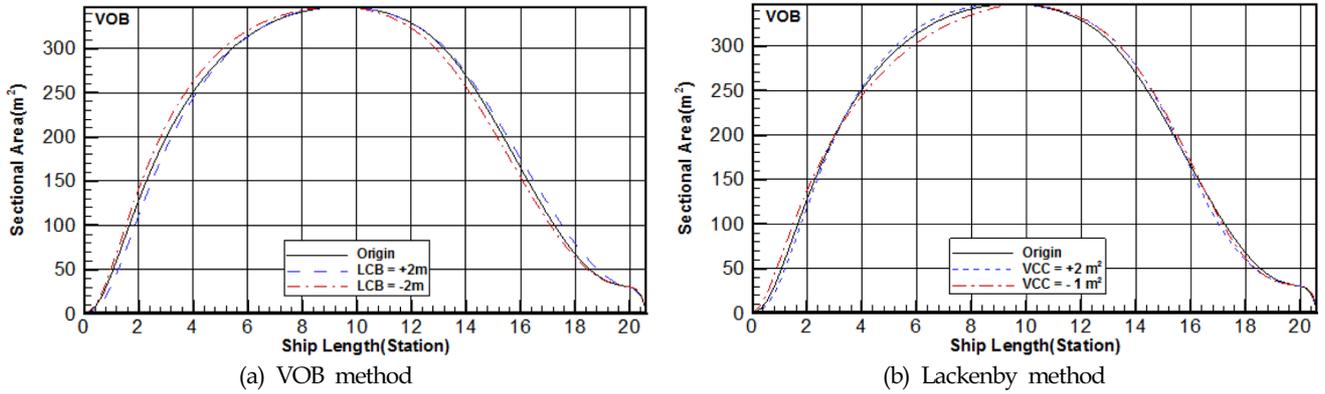
Minimize the object function (7)

Subject to

$$h_1(\vec{V}) = (1 + \Delta) LCB$$

$$g_i(\vec{V}) = \text{Other form parameters} \leq \epsilon$$

Fig. 4는 C_b 변화에 대한 결과와 마찬가지로 VOB방법이 LCB 만을 독립적으로 변화할 수 있음을 보여준다. 여기서 VCC 변환



Symbol	Unit	Given value	VOB		Lackenby		
			Calculated value	Calculated value	Calculated value	Calculated value	
δC_b	-	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δP_a	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δP_f	m	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
δLCB	m	-2.0	+2.0	-2.0	+0.2	-1.989	1.991
δVCC	m ²	0.0	0.0	0.003	0.003	-0.019	0.019
Fixed x_a	Station	free	free	-	-	-	-
Fixed x_f	Station	free	free	-	-	-	-

(c) Comparison of variation results

Fig. 4 Variation of LCB

결과가 0.003의 오차가 생기는 것은 식 (3)의 VCC에 대한 부등식 경계조건에서 오차율을 0.003으로 설정하였기 때문이다. Lackenby 방법은 주어진 LCB 변화량에 대해 $C_b(0.001)$, $VCC(-0.019, 0.019)$ 가 설계자의 의도와 상관없이 함께 변화됨을 알 수 있다.

(c) $VCC = \text{Given}$, $\text{Others} = \text{Maintained}$

정식화:

Minimize the object function (7)

Subject to

$$h_1(\vec{V}) = (1 + \Delta) VCC$$

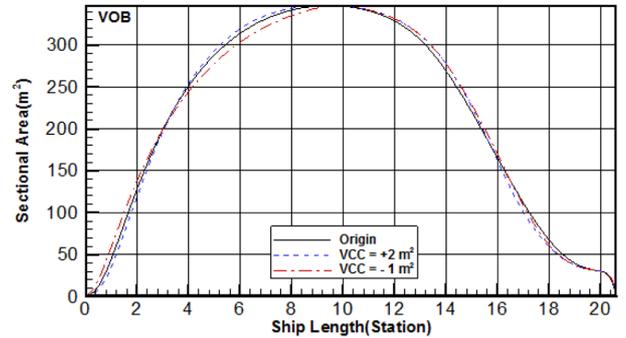
$$g_i(\vec{V}) = \text{Other for } m \text{ parameters } \leq \epsilon$$

상기의 적용 예는 다른 형상 파라미터들을 유지하면서 VCC를 변화시키는 것으로 실제 선형설계에서 C_b 와 LCB를 고정시킨 조건에서 최적 체적 분포를 찾고자 할 때 사용된다. Fig. 5는 VOB 방법에 의한 SAC 변환 특성을 나타낸다. 여기서 주어진 VCC 변화량 -1.0에 대해서 생성된 SAC의 VCC 변화량은 -0.997이다. 이것은 기준선으로부터 VCC만 독립적으로 변화시킬 경우 곡선이 퇴화되지 않는 범위 내에서 최대 변화량이 -0.997임을 의미한다. VCC 변화는 다른 형상 파라미터들과는 달리 민감도가 크고 변화량이 작아서 곡선이 퇴화하지 않고 곡선변환을 수행하기가 어렵지만 VOB방법으로 이러한 설계를 허용오차 내에서 정확하게 수행할 수 있음을 보여준다.

(d) VCC , $\text{Fixed station} = \text{Given}$, $\text{Others} = \text{Maintained}$

정식화:

Minimize the object function (7)



Symbol	Unit	Given value	VOB		
			Calculated value	Calculated value	
δC_b	-	0.0	0.0	0.0	
δP_a	m	0.0	0.0	0.0	
δP_f	m	0.0	0.0	0.0	
δLCB	m	0.0	0.0	0.0	
δVCC	m ²	-1.0	2.0	-0.997	2.003
Fixed x_a	Station	free	free	-	-
Fixed x_f	Station	free	free	-	-

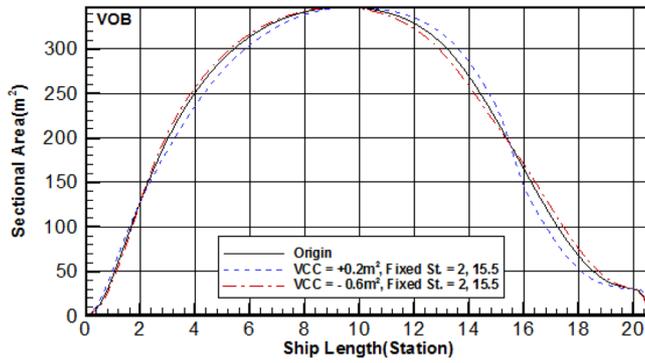
Fig. 5 Variation of VCC using VOB method

Subject to

$$h_1(\vec{V}) = \text{Fixed stations}$$

$$h_2(\vec{V}) = (1 + \Delta) VCC$$

$$g_i(\vec{V}) = \text{Other for } m \text{ parameters } \leq \epsilon$$



Symbol	Unit	Given value	VOB		
			Calculated value		
δC_b	-	0.0	0.0	0.001	-0.008
δP_a	m	0.0	0.0	0.0	0.0
δP_f	m	0.0	0.0	0.0	0.0
δLCB	m	0.0	0.0	0.0	0.0
δVCC	m ²	-0.6	0.2	-0.597	0.203
Fixed x_a	Station	2.0	2.0	2.0	2.0
Fixed x_f	Station	15.5	15.5	15.5	15.5

Fig. 6 Variation of VCC using VOB method with fixed stations

기준선의 화물창 경계조건, 엔진 및 펌프 설치 공간 확보 등을 만족하기 위해서 기준선의 임의 Station을 고정된 상태에서 횡단면적 곡선을 변화시켜야 할 경우가 있다. 특히, C_b 를 유지하고자 할 경우 이런 조건들을 만족하면서 횡단면적 곡선을 변화시키는 직관적으로 어려움이 있으며 설계자의 경험과 많은 작업시간을 필요로 한다. VOB방법은 이러한 경우에도 효율적으로 변화가 가능하다. Fig. 6은 2.0 Station과 15.5 Station을 고정하고 VCC를 변화시킨 경우의 SAC변환 예를 보인다. VCC 변화량 (-0.6, +0.2)에 따라 허용오차 내에서 횡단면적 곡선이 자연스럽게 변화됨을 알 수 있다.

(e) Combined constraints

정식화:

Minimize the object function (7)

Subject to

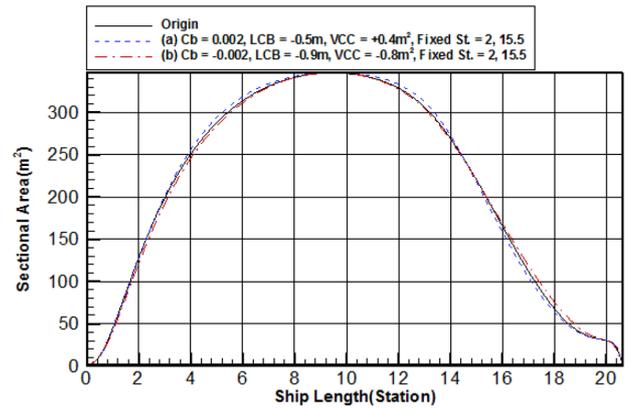
$$g_1(\vec{V}) = (1 + \Delta) C_b \leq \epsilon$$

$$g_2(\vec{V}) = (1 + \Delta) LCB \leq \epsilon$$

$$g_3(\vec{V}) = (1 + \Delta) VCC \leq \epsilon$$

$$g_4(\vec{V}) = \text{Fixed stations} \leq \epsilon$$

유체정역학적 특성이 동일하지는 않지만 기준선의 우수한 선형특성을 반영하여 선형설계를 수행하기 위해 (a)~(d)에서 보인 각 형상 파라미터들의 독립적인 변화는 상호 연동하여 종합적 설계조건으로 함께 작용할 수 있다. Fig. 7은 C_b , LCB 그리고 VCC를 설계조건으로 주었을 경우 VOB방법을 이용하여 횡단면적 곡선을 변화시킨 예를 나타낸다. 오차 허용범위 내에서 주어진 설계조건을 만족하는 횡단면적 곡선이 생성됨을 알 수 있다. 이때 주어진 파라미터들의 조합이 유용하지 않은 경우가 발생



Symbol	Unit	Given value	VOB		
			Calculated value		
δC_b	-	-0.002	-0.002	-0.002	0.002
δP_a	m	0.0	0.0	0.0	0.0
δP_f	m	0.0	0.0	0.0	0.0
δLCB	m	0.9	-0.5	0.9	-0.502
δVCC	m ²	-0.8	0.4	-0.797	1.489
Fixed x_a	Station	-	-	-	2.0
Fixed x_f	Station	-	-	-	15.5

Fig. 7 Variation of combined constraints using VOB method

할 수 있는데, 이때에는 $C_b \rightarrow LCB \rightarrow VCC$ 순으로 가중치를 두어 곡선퇴화가 되지 않는 범위 내에서 설계조건을 만족하도록 하였다.

(f) Summary

(a)~(e)에서 VOB방법을 이용한 SAC 변환 예와 그 특성을 살펴보고 있으며 요약하면 다음과 같다.

첫째, 횡단면적 곡선을 형상 파라미터들로서 정의하고 조정함으로써 설계자가 간편하고 체계적으로 횡단면적 곡선 변환이 가능하다.

둘째, 형상 파라미터들을 독립적으로 혹은 상호 연동하여 변화시킬 수 있으며, 설계조건에 따라 설계자의 의도대로 조정가능하다. 기존의 방법들은 항상 상호연동되어 변화되므로 선형변화를 체계적으로 수행하는데 한계를 가진다.

셋째, 형상 파라미터들의 변화량을 주어진 오차 범위 내에서 정확하게 변화시킬 수 있다.

넷째, 평활화 기준을 적용함으로써 형상 파라미터들의 조합으로 발생 가능한 곡선퇴화를 방지하고 유용한 범위 내에서 횡단면적 곡선 변화가 가능하다.

다섯째, 횡단면적 곡선이 형상 파라미터만으로 정의되므로 조정할 설계변수가 작다. 따라서 수치적 유체해석(Computational fluid dynamics, CFD)과 결합된 최적화 설계로의 확장 적용이 가능하다.

Table 2는 VOB방법을 포함한 선형변환방법들의 조정가능한 형상 파라미터들을 요약하여 정리하였다. 1- C_b 범은 C_b 와 중앙평

Table 2 Cp-curve variation methods and their control points

Method	Form parameter	Other control parameter
1- C_p method	C_p, P_a, P_f	
Lackenby method	C_p, \bar{x}, P_a, P_f	
Polynomial modification	-	Shift value
B-spline modification	-	Position of control points to be shifted
VOB method	$C_p, \bar{x}, \bar{z}, P_a, P_f, (x_b,$	

행부를 상호연동하여 조절할 수 있으며, Lackenby방법은 C_b , LCB 그리고 중앙평행부를 조절할 수 있지만 마찬가지로 각 파라미터들이 상호연동되어 작용하므로 C_b 를 변화하면 LCB와 중앙평행부도 함께 변화한다. 다항식 변환함수를 이용한 방법(Polynomial modification)과 B-Spline 변환곡선을 이용한 방법(B-spline modification)은 변환함수의 이동량(Shift value)를 이용하여 횡단면적 곡선을 직접 조정하는 방법으로 설계자가 유체정역학적 특성을 직관적으로 파악하여 선형설계에 고려할 수 없다는 단점을 가진다. 예를 들면, 주어진 설계조건을 만족하도록 설계자가 시행착오를 거쳐 반복적으로 변환함수의 이동량을 조절하여 확인하는 과정을 거친다. 마지막으로 VOB 방법은 전 절에서 설명한 바와 같이 각 형상 파라미터들을 독립적으로 혹은 상호 연동하여 모두 변화 가능하므로 곡선회화가 되지 않는 범위 내에서 유용한 형상 파라미터 변화량을 설계자에게 제공함으로써 가장 효율적이며 일반적인 선형변환 수행이 가능하다.

5. 결 론

본 논문은 초기 선형설계에서 최적 체적 분포를 체계적으로 검토할 수 있는 일반화된 선형 변환기법 개발을 목적으로 하였다. 이를 위해 형상 파라미터들을 이용한 “체적 밸런스 선형변환방법(VOB방법)”을 개발하였으며, B-spline 변환곡선과 결합한 최적화기법을 적용하였다. 체적 밸런스 선형변환방법의 주요특성으로는 독립적인 혹은 상호연동한 횡단면적 곡선설계 가능, 횡단면적 곡선회화를 방지하는 형상 파라미터들의 유용범위 제시 그리고 계산결과의 정확성 등이다. 일반적으로 횡단면적 곡선은 수면아래 체적분포특성을 나타내고 체적분포특성은 조파저항성능에 밀접하게 연관되어 있으므로 향후 본 논문에서 소개한 VOB방법을 이용하여 최소 조파저항성능을 가지는 선형의 전역적 특성을 파악하는데 효율적으로 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2012년 울산과학기술대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- Creutz, G., 1977. Curve and Surface Design from Form Parameters by means of B-Splines. (in German), Ph.D. Thesis, Technical University Berlin.
- Harries, S., 1998. Parametric Design and Hydrodynamic Optimization of Ship Hull Forms. Ph.D. Thesis, Technical University Berlin.
- Kim, H.C., 2004. Parametric Design of Ship Hull Forms with a Complex Multiple Domain Surface Topology. Ph.D. Thesis, Technical University Berlin.
- Kim, H.C., Hwangbo, S.M., 2008. Surface Modeling of Forebody's Hull Form Using Form Parameters and Fair-Skinning. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 45(6), 601-610.
- Kim, H.J., Choi, H.J., Chun, H.H., 2007. A Practical Hull Form Optimization Method Using the Parametric Modification Function, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 44(5), 542-550.
- Kim, S.Y., Kim, H.C., 1998. A Development of Neurofuzzy System for a Conceptual Design of Ship. Journal of the Society of Naval Architects of Korea, 35(3), 79-87.
- Kim, S.Y., Kim, H.C., Kim, S.H., 1996a. Stern Profile Design using Fuzzy Modeling. Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, 6(2), 90-96
- Kim, S.Y., Kim, H.C., Lee, Y.S., 1996b. Initial Hull Form Design using Fuzzy Modeling. Ship Technology Research, 43, 175-180.
- Kim, S.Y., Kim, H.C., Yeo, K.H., Kim, M.J., 1998. Generation of Sectional Area Curve using an ANFIS and a B-spline Curve. Journal of Ocean Engineering and Technology, 12(3), 96-102.
- Lackenby, H., 1950. On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms. RINA Transactions, 92, 289-309.
- Rogers, D.F., Adams, J.A., 1990. Mathematical Elements for Computer Graphics. 2nd Edition, McGraw-Hill Publishing Company.
- Son, H.J., Kim, H.C., 2008. Remodeling of Hull Form and Calculation of Design Parameters using Cubic Composite Spline. Transactions of the Society of CAD/CAM Engineers, 13(6), 440-449.